

COMPORTEMENT DU CLIMAT FUTUR EN CÔTE D'IVOIRE: CAS DE LA REGION DU GÔH - CENTRE OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE

[BEHAVIOUR OF FUTURE CLIMATE IN CÔTE D'IVOIRE: CASE OF THE REGION OF GOH - CENTER-WEST OF THE CÔTE D'IVOIRE]

*René BALLIET¹, Bachir M. SALEY², Anowa E. L. EBA¹, Gabriel E. AKE¹, Vano Mathunaise SOROKOBY², Yao E. KOUAKOU³,
and Akon A. N'DRI¹*

¹Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Côte d'Ivoire

²Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Côte d'Ivoire

³Laboratoire de Géosciences et Environnement (LGE), Université Nangui Abrogoua d'Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In the context of climate change, socio-economic development of a region depends on its ability to adapt to adverse climate effects. However, a good and sustainable adaptation to these effects requires knowledge of the evolution of future climate. This study aims, the projection of some climatic parameters (temperature and rainfall) of the GOH region (center-west of the côte d'ivoire) for the 2020, 2050 and 2080 by a model of statistical downscaling (SDSM 4.2.9). To do this, this model includes observational data and data anthropogenic emissions scenarios A2 (pessimistic) and B2 (optimistic). According to the scenarios, temperatures would experience an increase. While rainfalls would decrease in the region. These temperature increases and decreases in rainfall observed could have consequences on the development of the region.

KEYWORDS: SDSM, Climate Change, adaptation, projection, Côte d'Ivoire, Goh.

RESUME: Dans le contexte de changement climatique, le développement socio-économique d'une région dépend de sa capacité à s'adapter aux effets négatifs du climat. Cependant, une bonne adaptation et durable à ces effets nécessite la connaissance de l'évolution du climat futur. Cette étude a pour objectif, la projection de certains paramètres climatiques (précipitations et températures) de la région du Gôh (Centre Ouest de la Côte d'Ivoire) pour les horizons 2020, 2050 et 2080 par un modèle de désagrégation statistique (Downscaling Model) SDSM 4.2.9. Pour ce faire, ce modèle intègre des données d'observation et des données des scénarii d'émissions anthropiques A2 (plutôt pessimiste) et B2 (plutôt optimiste). Selon ces deux scénarii, les températures connaîtraient une hausse et les précipitations une baisse dans de la région. Ces hausses de température et baisses de pluies constatées pourraient avoir des conséquences sur le développement de la région.

MOTS-CLEFS: SDSM, Changement climatique, adaptation, projection, Côte d'Ivoire, Gôh.

1 INTRODUCTION

Selon [1], en même temps que la planète se réchauffe, le régime des précipitations se modifie et des phénomènes extrêmes tels que les sécheresses, les inondations, les incendies de forêts, la détérioration de la sécurité alimentaire, la propagation des maladies climato sensibles et l'augmentation du risque de conflits à cause de la raréfaction des ressources (terres, l'eau) deviennent plus fréquents.

La région du Gôh (Centre Ouest Côte d'Ivoire) a des systèmes de production économiques fondés sur l'exploitation des ressources naturelles locales, qui restent fortement tributaires du climat et de ses variations. Ainsi, ces systèmes ne sont pas épargnés des effets du changement climatique. Pour limiter ces effets, on peut soit réduire les émissions de gaz à effet de serre (atténuation), ou soit s'adapter aux changements du climat (adaptation). Les travaux menés à l'échelle internationale, notamment ceux de [2], demandent de notre part une adaptation, même si tout est mis en œuvre pour éviter les dérèglements climatiques par la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La perspective du réchauffement climatique dans les décennies à venir, avec comme conséquence l'accroissement de la variabilité des précipitations et du nombre d'évènements météorologiques extrêmes, la montée du niveau de la mer et le déplacement des zones climatiques, présage de sérieux problèmes d'adaptation. Selon [3], il devient donc nécessaire de redoubler d'efforts pour intégrer l'approche et les mécanismes d'adaptation au Changement Climatique dans la planification tant au niveau régional, national que local.

2 MATÉRIELS ET METHODE

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

La région du Gôh est située au centre-ouest de la côte d'Ivoire entre les latitudes 5,679° et 6,649° N et les longitudes 6,408° et 5,201° W. Elle appartient à la nouvelle boucle de cacao et est limitée par les régions de la Marahoué et du Haut-Sassandra au Nord, de la Nawa à l'Ouest, du Lôh-Djiboua au Sud et de l'Agnéby-Tiassa, du Bélier et du district de Yamoussoukro à l'Est. Cette région est constituée de deux départements : le département de Gagnoa (comme chef-lieu de région, la sous-préfecture de Gagnoa) à l'ouest et le département d'Oumé à l'est (figure 1).

La région est soumise à deux types de climat: le climat équatorial de transition (climat Attiéen) sur presque toute la région et le climat équatorial de transition atténué (climat Baouléen) à l'extrême Ouest. La végétation est constituée essentiellement d'une forêt humide sempervirente.

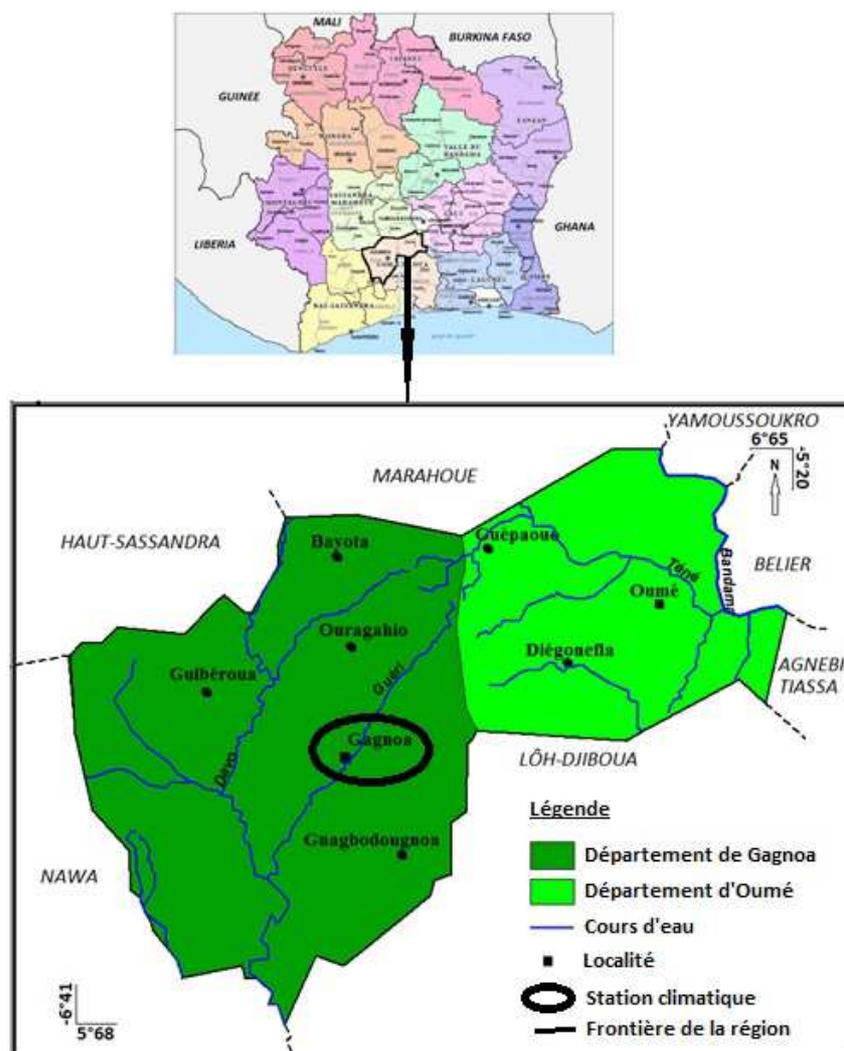


Figure 1 : Situation géographique de la région du Goh

2.2 MATÉRIELS

2.2.1 DONNÉES

Dans cette étude, ce sont les données climatiques (pluviométrie et températures) de la station de Gagnoa qui ont été utilisées. Ces données sont journalières et ont été fournies par la SODEXAM. La période d'observation des pluies est de 35 ans (1961-1995) et celle des températures est de 30 ans (1981-2010). Les températures sont constituées de températures minimales, maximales et moyennes.

A ces données s'ajoutent les prédicteurs (données atmosphériques) de ré-analyse du National Centers for Environmental Prediction (NCEP) pour le calibrage et la validation, et de Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM3) pour les scénarii. Ces données sont téléchargeables sur le site : (<http://www.cics.uvic.ca/scenarios/sdsm/select.cgi>). Les variables prédictives sont fournies sur une grille de sorte que les données ont été téléchargées à partir de la case de la grille la plus proche de la zone d'étude (tableau I).

Tableau I: Coordonnées des stations et les grilles de prédicteurs respectifs

Stations	Longitude	Latitude	Variables observées (prédictands)	Grille de prédicteurs
Gagnoa	5,95° O	6,13° N	Précipitations, Températures	BOX_03X_33Y

2.2.2 MATÉRIELS

Le matériel de traitement des données est essentiellement du matériel informatique constitué d'un ordinateur équipé de plusieurs logiciels spécifiques dont Statical DownScaling Model ((SDSM) version 4.2.9. C'est un modèle de réduction d'échelle statistique, pour la projection des paramètres climatiques (Températures et précipitations).

2.3 MÉTHODE

2.3.1 JUSTIFICATION DU CHOIX DU MODELE CLIMATIQUE

Le modèle SDSM est un modèle basé sur des techniques statistiques de réduction d'échelle, développé par l'Agence Environnementale d'Angleterre (AEA) [1].

L'intérêt majeur de la technique SDSM, est qu'elle permet de produire de façon rapide des séries quotidiennes des paramètres météorologiques (température moyenne, température maximale, température minimale, précipitations) pour l'ensemble de la période 2011-2099. Ceci facilite par la suite l'interprétation des tendances de la variabilité interannuelles de ces paramètres. Toutefois, cela n'est possible que pour les zones ou les observations sont disponibles, homogènes et fiables.

2.3.2 PRINCIPE DU MODELE SDSM

La figure 2 représente les opérations nécessaires pour la production des scenarii de changements climatiques à haute résolution. Ces opérations sont résumées principalement en cinq étapes :



Figure 2 : Les principales étapes de la projection

Etape 1 : contrôle des données

Cette première étape consiste à faire un dernier contrôle des données observées avant la calibration du modèle avec le module « Quality Control ». Il est aussi parfois nécessaire de procéder à certaines transformations au niveau des prédicands (observations) et/ou prédicteurs (données de grande échelle NCEP ou HadCM3).

Etape 2 : sélection des prédicteurs (les prédicteurs sont des variables atmosphériques utilisées les projections)

Le processus de décision statistique dans le choix d'un nombre optimal des prédicteurs reste une des étapes les plus difficiles vu que l'importance de ces derniers varie dans le temps. Cette étape de sélection se fait avec le module « Scéen Variables » et permet un choix statistique rigoureux des prédicteurs en se basant sur la corrélation partielle et le p-value entre prédicands et prédicteurs (tableau II).

Tableau II: Variable de ré-analyse sélectionnées pour les précipitations et température

Variables	Stations	Prédicteurs	Corrélation partielle (Partial r)	P valeur
Précipitations (PRCP)	Gagnoa	Ncepp5_zaf	0,035	0,0303
		Nceprhumaf	-0,035	0,0349
		ncepshumaf	0,035	0,0322
Température maximale (TMAX)	Gagnoa	Ncepp_zaf	0,05	0,0000
		Ncepshumaf	0,033	0,0016
		Nceptempaf	0,313	0,0000
Température minimale (TMIN)	Gagnoa	Ncepp8zhaf	0,056	0,0000
		Ncepshumaf	0,165	0,0000
		Nceptempaf	0,128	0,0000
Température moyenne (TMIN)	Gagnoa	Ncepp_zaf	0,057	0,0000
		Ncepshumaf	0,145	0,0000
		Nceptempaf	0,359	0,0000

Etape 3 : calibration du modèle

Cette opération qui se fait par le module «Model calibrate» prend en considération le prédicteur qui sont des les données climatiques de stations (température moyenne, température maximale, température minimale et précipitations) et la série de prédicteur (Ré-analyses NCEP).

On peut définir si la calibration se fait sur une base mensuelle, saisonnière ou annuelle, et si le processus est conditionnel ou inconditionnel. Dans le cas d'un processus inconditionnel (par exemple, pour la température), un lien direct est présumé entre les prédicteurs et le prédicteur. Dans un processus conditionnel (par exemple, pour la précipitation), une procédure intermédiaire est utilisée parce que la quantité de précipitation locale dépend de l'occurrence des jours humides, qui en retour dépend des prédicteurs régionaux, comme l'humidité et la pression atmosphérique notamment.

Pour le calibrage du modèle, les premières moitiés (1961-1977) de la période d'observation (1961-1995) des pluies et (1981-1995) de la période d'observation (1981-2010) des températures ont été utilisées

Etape 4 : Validation du logiciel

C'est la génération des données sur le climat présent et l'analyse statistique qui se fait par le module « Weather Generator ». Ce module permet la génération d'un ensemble de séries stochastiques quotidiennes de l'observation locale (prédicteur) sur le climat présent à l'aide des modèles calibrés et du générateur de temps intégré dans SDSM. La procédure permet la vérification des modèles calibrés en se basant sur des séries de données indépendantes et certains critères statistiques.

La qualité de l'ajustement du modèle SDSM a été aussi jugée par les valeurs du critère de Nash [4] à la suite de chaque simulation. Ce critère est celui qui globalement permet d'obtenir les meilleurs calages et validation ([5] ; [6] in [7]). Le modèle est considéré comme performant quand les données estimées se rapprochent des données observées, c'est-à-dire lorsque la valeur du critère de Nash est proche de 100%. Cependant, un critère de moins de 60% ne donne pas une concordance satisfaisante entre les hydrogrammes observés et simulés par le modèle ([8] in [9]).

La validation a nécessité les données des deuxièmes moitiés des périodes d'observation à s'avoir 1978-1995 pour les pluies et 1995-2009 pour les températures. Comme critères d'évaluation de la performance statistique, pour la précipitation, la précipitation moyenne mensuelle et le cumul des pluies sont utilisées. Quand aux températures, ce sont les moyennes mensuelles qui sont utilisées pour la validation.

Etape 5: Génération des scénarii de changements climatiques

Après la calibration du modèle statistique de réduction d'échelle (SDSM), les scénarii de changement climatique A2 et B2 de grande échelle HadCM3 sont utilisés dans le module «Scenario Generator». Ces scénarii sont utilisés comme des entrées pour produire un ensemble de séries quotidiennes (dans cette étude 20 séries par paramètre et par scénario) pour le climat futur sur la période 2011-2099 à l'échelle de la station météorologique. Cette opération de génération des scénarii des changements climatiques A2 et B2 se fait séparément pour chaque scénario et pour chaque paramètre météorologique (température moyenne, température maximale, température minimale, précipitations).

La figure 3 montre les différentes étapes à suivre pour une projection du climat futur par le modèle SDSM dans la région du Gôh.

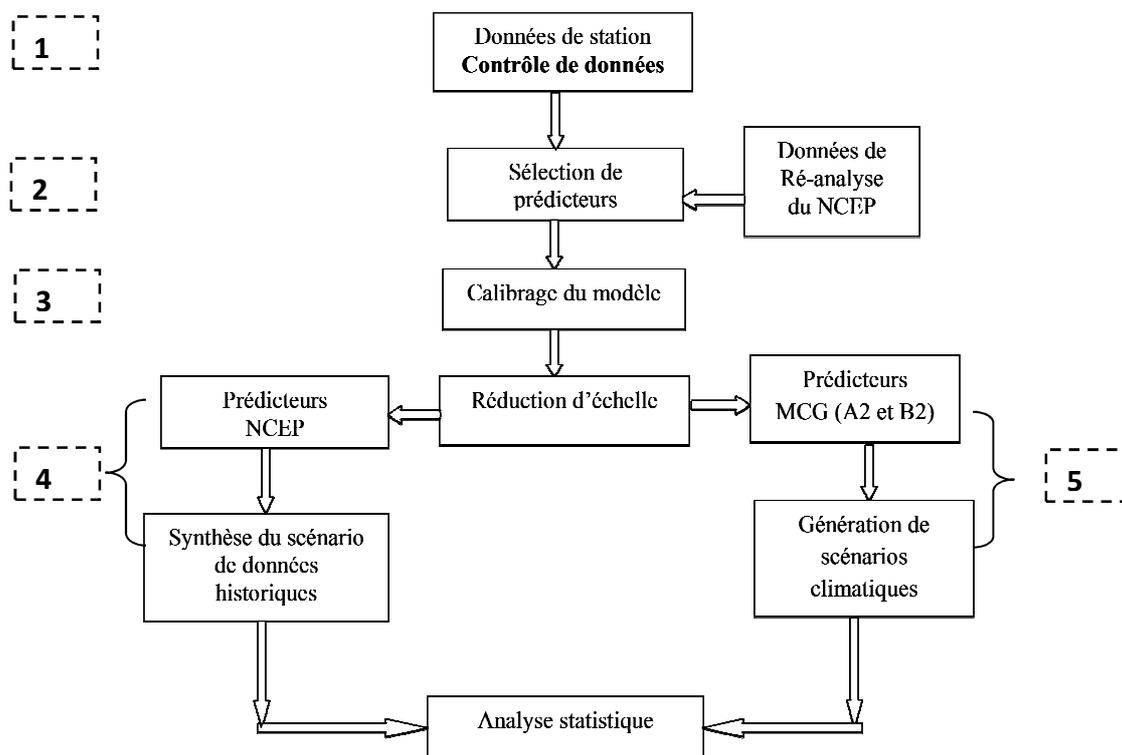


Figure 3 : Processus d'évaluation des changements climatiques futurs au niveau de la région du GÔH

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 CALIBRAGE ET VALIDATION DU MODÈLE

La figure 4 montre la comparaison des températures minimales (TMin), températures moyennes (TMoy) et températures maximales (TMax) à échelle réduite (simulée) et observée au cours de la période de validation. Les différents graphiques montrent que les températures simulées sont pratiquement égales aux températures observées. Cela démontre que la validation de ces paramètres de températures donne une performance satisfaisante du logiciel SDSM.

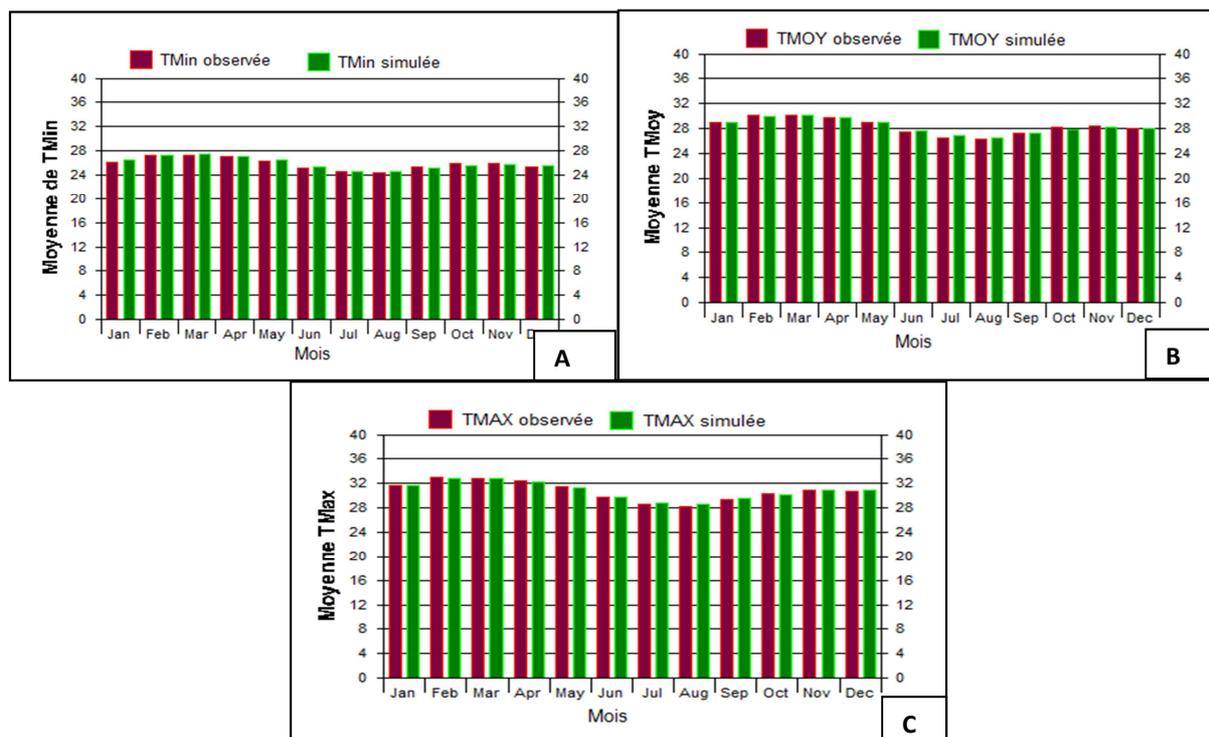


Figure 4: Comparaison entre les températures minimales (A), moyennes (B) et maximales (C) journalières observées et simulées

Pour la validation des précipitations (PRCP), ce sont la moyenne et le cumul des précipitations qui ont été utilisés. Les figures 5 montrent les résultats de validation du modèle SDSM pour les pluies. Les résultats donnent une mauvaise estimation de la moyenne et du cumul mensuelle des précipitations tant à la station d'Oumé qu'à la station de Gagnoa. De l'analyse des graphiques, il ressort d'une manière générale que le modèle sous-estime les moyennes de précipitations pour presque tous les mois. En ce qui concerne, le cumul des pluies, la figure 5B montre une sous-estimation des cumuls de décembre à mars et de juin à septembre et une surestimation d'octobre à novembre et d'avril à mai.

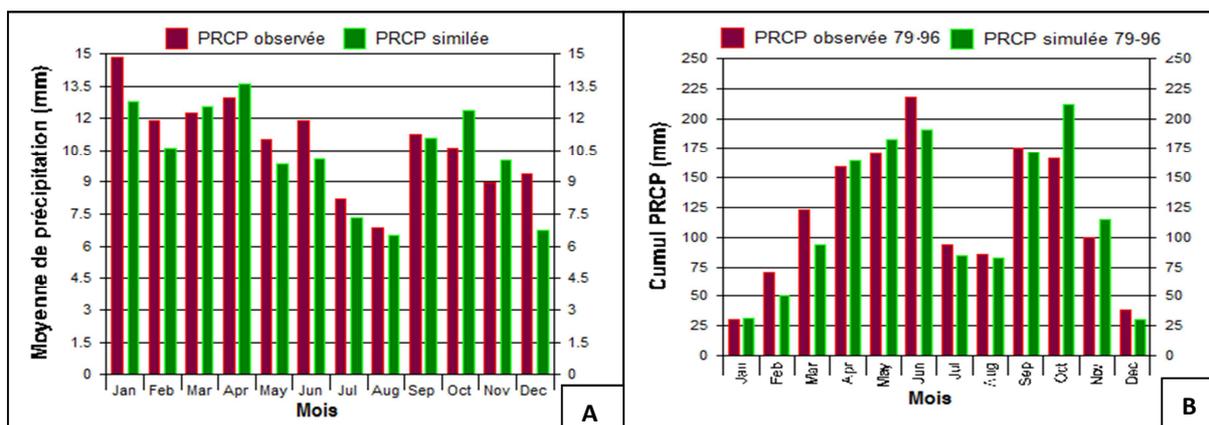


Figure 5: Comparaison entre les précipitations moyennes journalières (A) et cumuls mensuels (B) observées et simulées (1978-1997) à la station de Gagnoa

La validation du Modèle par les graphiques est appuyée dans cette étude par le critère de Nash dont les résultats sont reportés dans le tableau III. Le critère de Nash en validation de la température sur la période de 1978-1994 donne pour la température minimale (Tmin) 82%, la température maximale (Tmax) 88% et la température moyenne (Tmoy) 99,45%. En validation de la précipitation, il donne 62,45% à la station de Oumé et 64,84% à la station de Gagnoa. Ces résultats obtenus sont supérieurs à 60%. En outre, ils montrent que la simulation des températures est très satisfaisante pour Tmin, et Tmax, et

excellente pour Tmoy. De même celle des pluies est satisfaisante, indiquant ainsi une difficulté de simuler les précipitations à l'échelle locale à partir des variables atmosphériques à grande échelle.

Tableau III : Critère de Nash

Paramètres	Tmin	Tmax	Tmoy	PRCP
Nash (%)	82	88	99,45	64,84

3.1.2 EVOLUTION FUTURE DES TEMPERATURES ET DES PRECIPITATIONS ISSUS DE LA DESCENTE D'ECHELLE STATISTIQUE

3.1.2.1 TEMPÉRATURE MINIMALE (TMIN)

Les scénarii A2 (figure 6A) et B2 (figure 6B) indiquent que les Tmin auraient une évolution décroissante par rapport à la période de référence (1981-2010), sauf les mois d'août à novembre où elles seraient en hausse.

La température projetée avec le scénario A2 (figure. 6A) indique que la Tmin serait en baisse de 0,019° C à l'horizon 2020, de 0,215° C à l'horizon 2050 et de 0,214° C à l'horizon 2080. Annuellement, selon A2, les Tmin passeraient de 21,9° C entre 1981-2010 à 21,88° C à l'horizon 2020 ensuite à 21,87° à l'horizon 2050 et à 21,874° C à l'horizon 2080.

Selon le scénario B2 (figure 6B), les Tmin seraient également en baisse de 0,213° C, de 0,225° C et de 0,222° respectivement aux horizons 2020, 2050 et 2080. Les moyennes annuelles des Tmin passeraient de 21,9° C pour les années 1981-2010 à 21,868° C ensuite à 21,87° C et à 21,88° C aux horizons 2020, 2050 et 2080.

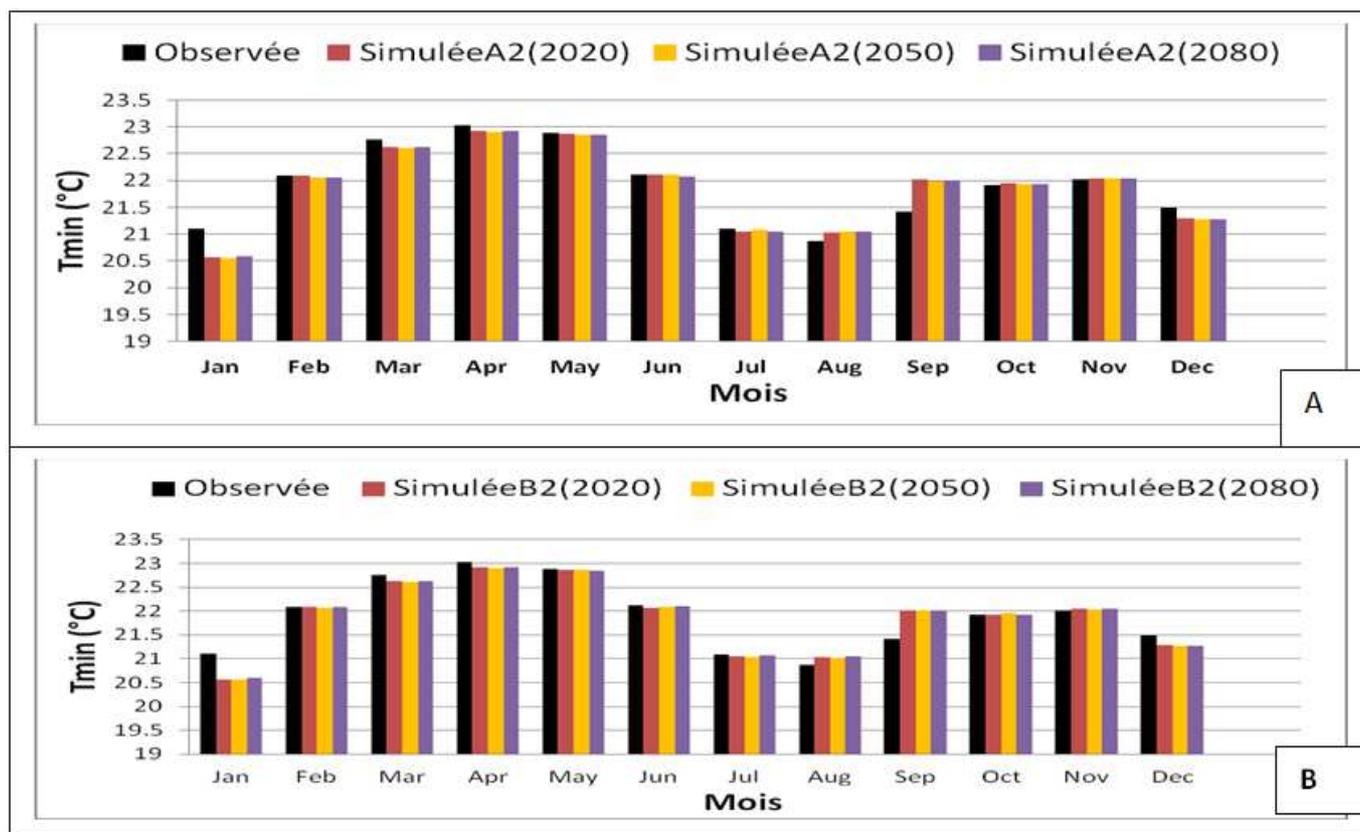


Figure 6: Evolution des moyennes mensuelles des températures minimales journalières pendant les horizons 2020, 2050 et 2080 selon les scénarios A2 (A) et B2 (B)

3.1.2.2 TEMPÉRATURE MAXIMALE (TMAX)

La figure 7 présente les variations des moyennes des Tmax aux horizons 2020, 2050, et 2080, par rapport à la période de référence (1981-2010), selon les scénarii A2 (fig. 7A) et B2 (fig. 7B).

Les deux scénarii indiquent des changements à l'égard de la période de référence dans les années 2020, 2050, et 2080. Ainsi, tout comme le scénario A2, B2 prédit des Tmax en hausse d'octobre à mai, alors que de juin à septembre, ces scénarios annoncent une baisse de Tmax.

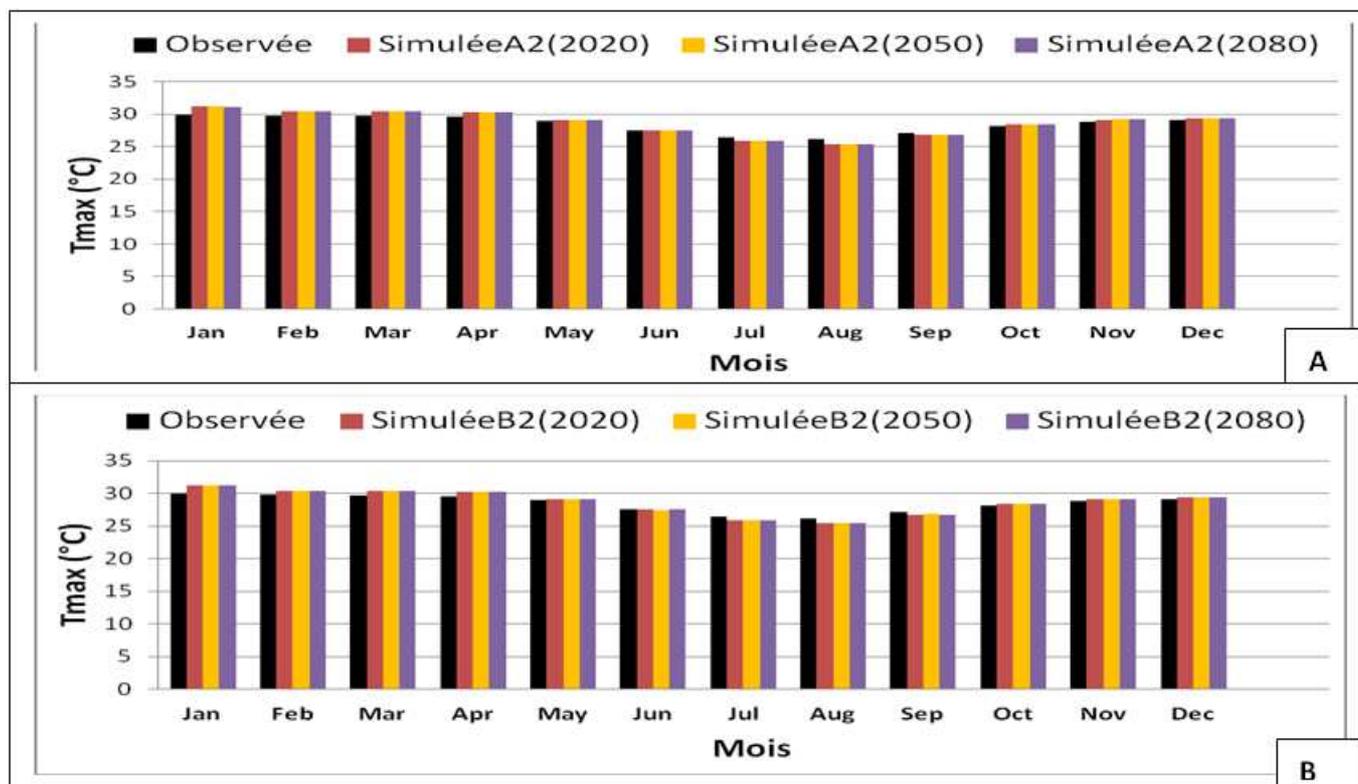


Figure 7: Evolution des moyennes mensuelles des températures journalières pendant les horizons 2020, 2050 et 2080 selon les scénarios A2 (A) et B2 (B)

Le tableau IV montre les écarts entre les températures maximales observés et celles projetées.

Tableau IV: Ecart de températures maximales prévues par rapport à 1981-2010

Scénario	1981-2010	2011-2040		2041-2070		2071-2099	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Tmoy (°C)	28.44	28.67	28.662	28.674	28.665	28.664	28.66
Ecart moyen (°C)		0,225	0.218	0,230	0,221	0,220	0.216

3.1.2.3 TEMPÉRATURE MOYENNE (TMOY)

La figure 8 montre l'évolution de la Tmoy pendant les horizons 2020, 2050 et 2080.

L'analyse de la figure 8 montre que les deux scénarii A2 (fig. 8A) et B2 (fig. 8B) prédisent une baisse de Tmoy de mai à août. Cependant, de septembre à avril, des hausses des Tmoy seraient observées, avec des maxima de prêt de 1° C en février. Annuellement, ces deux scénarii prédisent une hausse de Tmax à la station de Gagnoa.

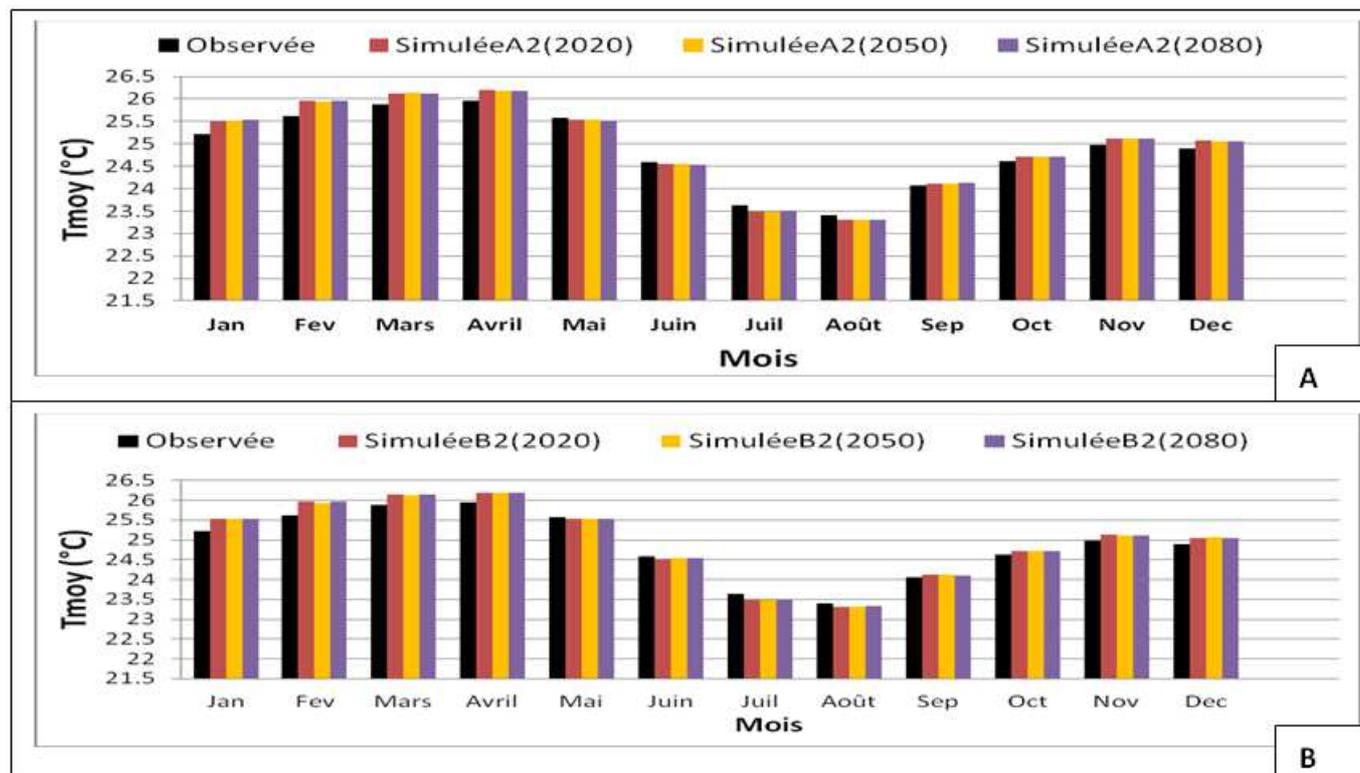


Figure 8: Evolution des moyennes mensuelles des températures journalières pendant les horizons 2020, 2050 et 2080 selon les scénarios A2 (A) et B2 (B)

Le tableau V montre les écarts entre les températures moyennes observées et celles projetées.

Tableau V: Ecart de températures moyennes prévues par rapport à 1981-2010

Scénario	1981-2010	2011-2040		2041-2070		2071-2099	
	A2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
Tmoy (°C)	24.871	24.972	24.975	24.973	24.97	24.973	24.975
Ecart moyen (°C)		0,101	0,103	0,102	0,099	0,1022	0,104

3.1.2.4 PRÉCIPITATION

A la station de Gagnoa, la variation future des pluies prévue par les scénarii A2 et B2 est mise en exergue par les figures 9, 10 et 11.

Les cumuls saisonniers des pluies sont représentés par la figure 9. Selon le scénario A2 (fig. 9A), les pluies connaîtraient une baisse dans les grandes saisons sèche et de pluie ainsi que la petite saison sèche aux différents horizons 2020, 2050 et 2080. Pendant la petite saison de pluie, ce scénario projette des pluies en hausse par rapport à la période de référence (1961-1990). Annuellement, A2 projette des pluies en baisse de 5,14% (2020), de 2,34% (2050) et de 3,3% (2080). Quant au scénario B2 (fig. 9B), il prévoit des baisses de pluies pendant la grande saison de pluie et la petite saison sèche et des hausses dans la grande saison sèche et petite saison de pluie pour les horizons 2020 et 2080. Pendant l'horizon 2050, B2 prévoit des diminutions de pluie dans les grandes saisons sèche et de pluie de même que la petite saison sèche. Cependant, dans la petite saison de pluie ce scénario annonce une hausse de la pluviométrie. Annuellement, les pluies seraient en baisse de 5,65% (2020), de 4,42% (2050) et de 7,25% (2080) selon B2.

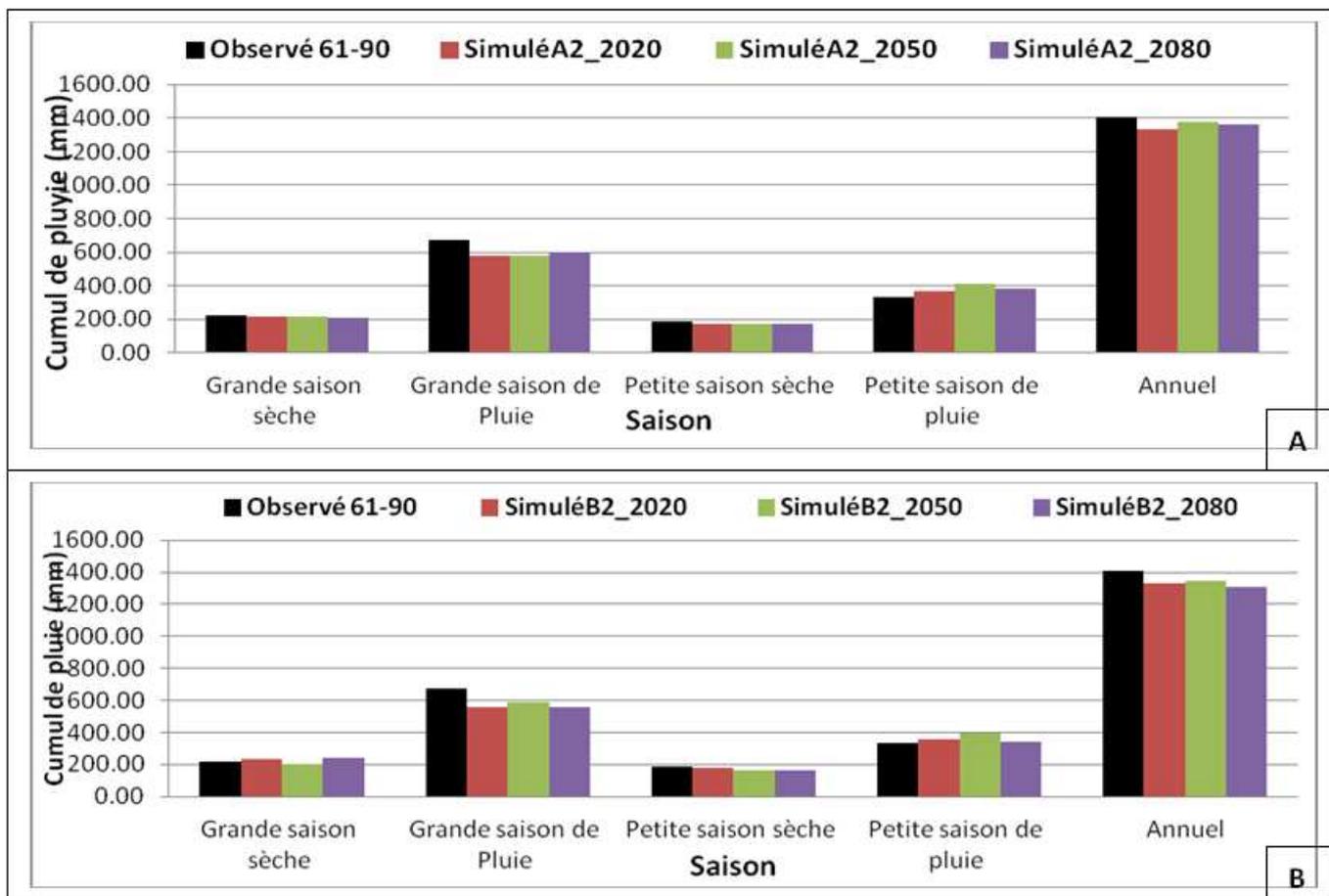


Figure 9 : Evolution des cumuls mensuels de pluies pour les horizons 2020, 2050 et 2080 selon les scénarii A2 (A) et B2 (B) à la station de Gagnoa

L'évolution saisonnière de l'indice LPS (longueurs moyennes de périodes sèches ou séquences sèches) est présentée par la figure 10. Cet indice, selon A2 (fig. 10A) connaîtrait des baisses pendant toutes les saisons climatiques au cours des années à venir, sauf pendant la grande saison de pluie de l'horizon 2050 où il enregistrerait une hausse marginale de 0,31%. De même, B2 projette des baisses du nombre de jours consécutivement secs pendant toutes les saisons sauf dans la grande saison de pluie au cours des années 2050 et 2080 (fig. 10B). Annuellement, ces deux scénarii (A2 et B2) prévoient respectivement des réductions du nombre de jours des séquences sèches de 8,74% et 9,85% (2020), de 10,10% et 11% (2050) et de 9,3% et 10% (2080).

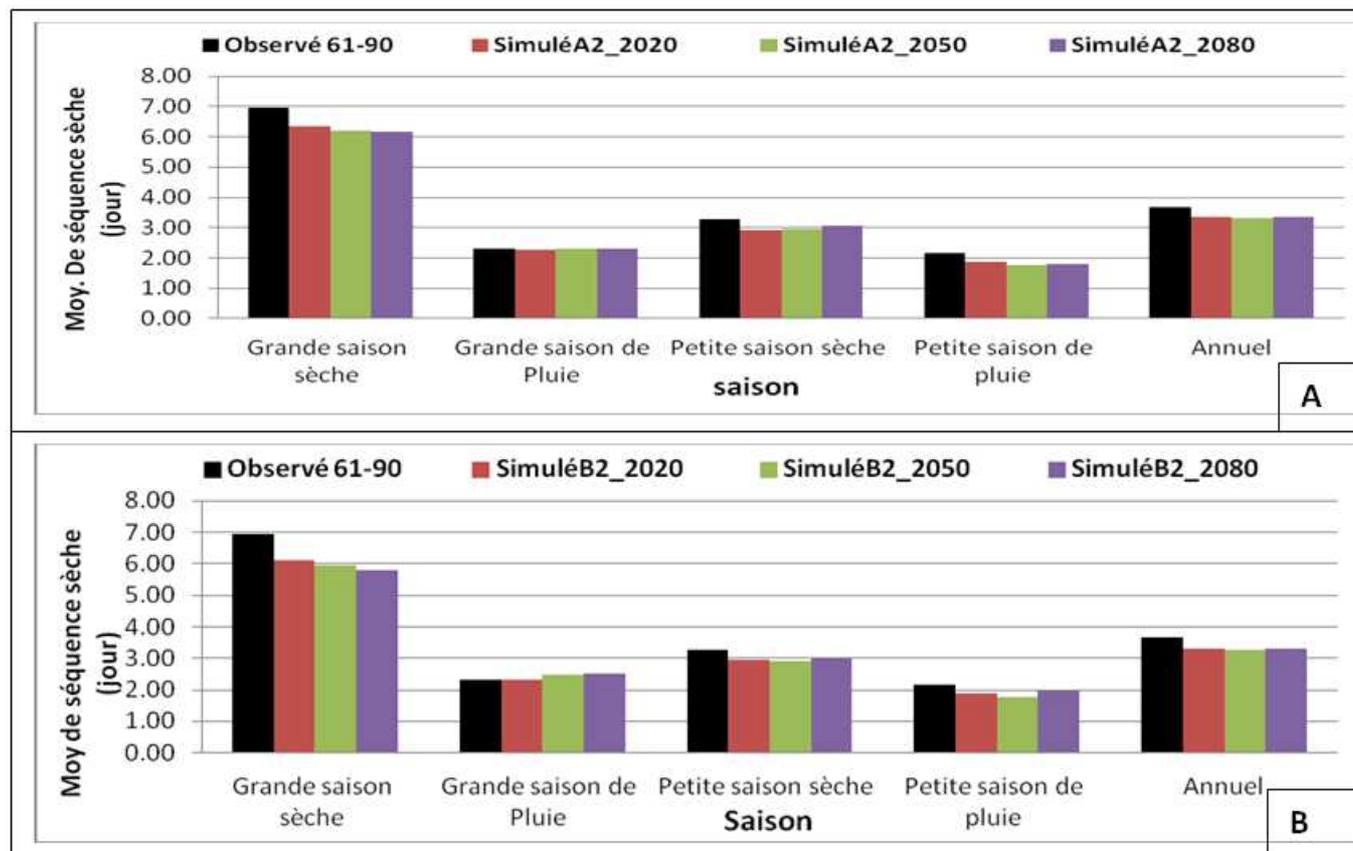


Figure 10 : Evolution des moyennes mensuelles des longueurs de périodes sèches pendant les horizons 2020, 2050 et 2080 selon les scénarii A2 (A) et B2 (B) à la station de Gagnoa

La figure 11 présente l'évolution saisonnière de l'indice LPH (longueurs moyennes périodes humides ou séquences humides). Cette figure montre que, le scénario A2 annonce des baisses du nombre de jours consécutivement humides dans la plupart des saisons au cours des périodes futures (figure 11A). Néanmoins, la petite saison de pluie connaîtrait une hausse de jours humides au cours de l'horizon 2020. Il en est de même pour la grande saison de pluie au cours des horizons 2050 et 2080. Cet indice serait annuellement en baisse de 6,1% (2020), de 12,13% (2050) et de 6,6% (2080). En ce qui concerne B2, il annonce des augmentations du nombre de jours humides pendant toutes les saisons à l'exception de la grande saison sèche qui connaîtrait une baisse au cours des trois périodes futures (figure 11B). Aussi, la petite saison de pluie enregistrerait une baisse au cours des années 2080. Selon B2, l'indice LPH enregistrerait annuellement des baisses de 0,3% (2020), de 0,8% (2080) et une hausse de 0,4% au cours des années 2050.

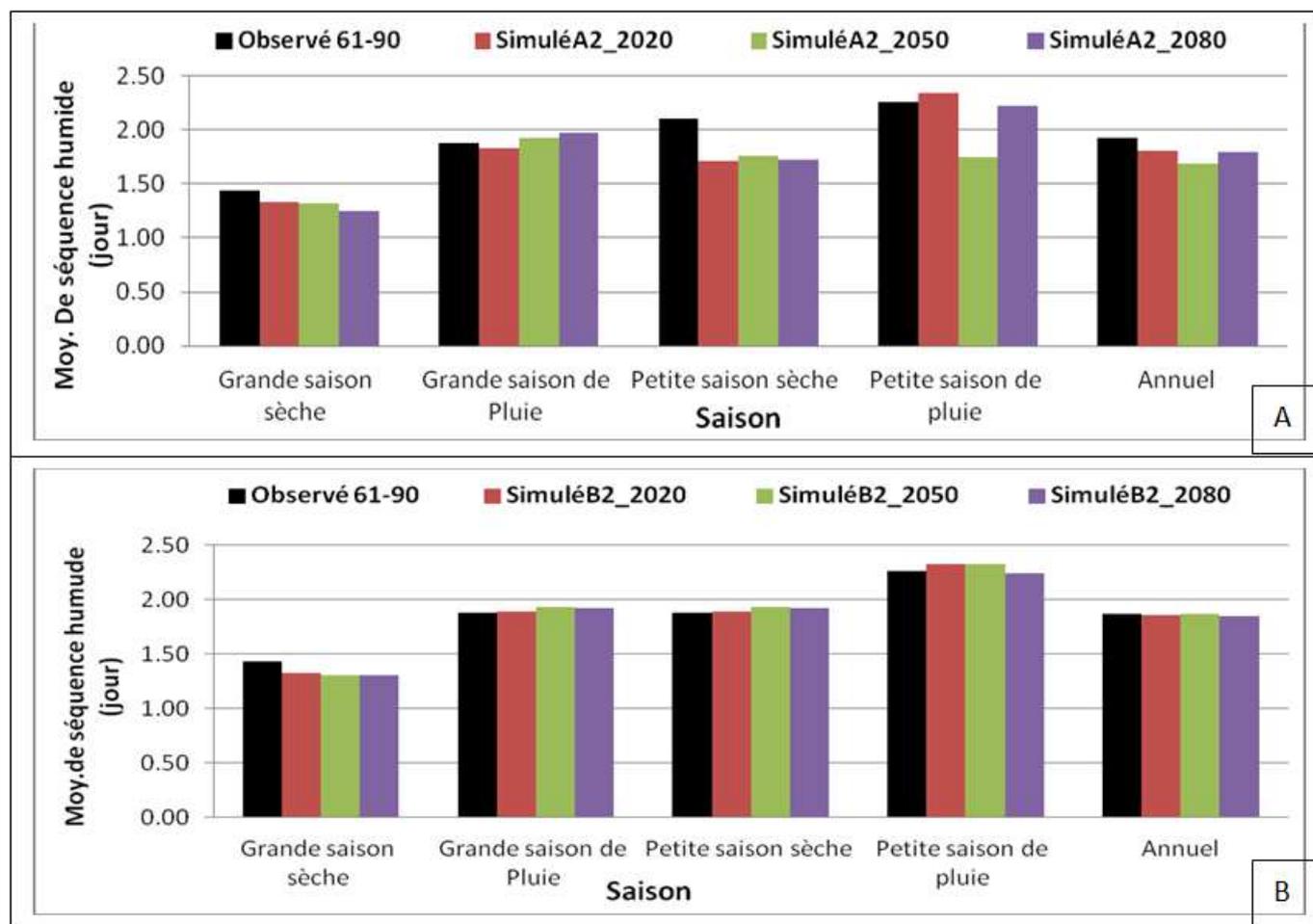


Figure 11: Evolution des moyennes mensuelles des longueurs de périodes humides pendant les horizons 2020, 2050 et 2080 selon les scénarii A2 (A) et B2 (B) à la station de Gagnoa

3.2 DISCUSSION

3.2.1 EVALUATION DE LA PERFORMANCE DU MODELE SDSM

Le principe fondamental du modèle SDSM est la relation entre MCG prédicteur (HadCM3) et prédicand (données Observées). Par conséquent, les sélections de variables MCG sont plus importantes dans l'étude du changement climatique, et auront une incidence sur les résultats de l'évaluation du climat [10]. Dans SDSM, le choix est fait en utilisant des tests quantitatifs (variance expliquée et de corrélation partielle). Cependant, la procédure contient un certain niveau de subjectivité, que le jugement de l'utilisateur est nécessaire pour décider si un prédicteur est assez significative pour éviter le rejet [11]. Dans cette étude, seulement quatre (3) variables du MCG ont été sélectionnées pour les températures, de même que pour les précipitations. Les résultats des choix de prédicteurs des précipitations obtenus sont en accord avec les travaux de [12], qui a utilisé trois (3) variables du MCG. D'autres études comme celles de [13], [14], [15], [16] ont utilisé plus de trois variables et ont obtenu des résultats satisfaisants.

En termes de réduction d'échelle des Tmax, Tmin et Tmoy la performance est meilleure que la performance des précipitations à échelle réduite. Selon [17], pour la validation du modèle, l'erreur de précipitations à moins d'importance, parce que la réduction d'échelle des précipitations est plus problématique que la température. Selon ce même auteur, cette réduction est un modèles conditionnelles, c'est-à-dire qu'il ya un processus intermédiaire entre les prédicands et les prédicteurs (par exemple, les quantités de précipitations locales dépendent de la fréquence de jours humides, qui à leur tour dépendent de prédicteurs à l'échelle régionale tels que l'humidité et la pression atmosphérique). Ainsi, on peut dire que les résultats de précipitations pour la validation du modèle obtenus dans cette étude donnent une estimation raisonnable des précipitations. Des études similaires telles que [18], [19], [20] ont constaté aussi que les températures quotidiennes réduisent facilement l'échelle par rapport aux précipitations quotidiennes en raison de l'existence de variables continues.

3.2.2 ÉVOLUTION DE LA TEMPERATURE ET DE LA PLUIE AU COURS DU 21EME SIECLE

Concernant la simulation du climat futur, les données à échelle réduite de 2011 à 2099 ont été subdivisées en trois horizons de la manière suivante : l'horizon 2020 (2011-2040), l'horizon 2050 (2041- 2070), et l'horizon 2080 (2071 à 2099). Les données de ces différents horizons ont été comparés avec celles de la période de référence à s'avoir 1961-1990 pour les pluies et 1981-2010 pour les températures. Ceux-ci ont permis d'observer des changements de température et de pluies entre les différentes périodes. Ainsi, selon le modèle SDSM, les T_{min} annuelles seraient en baisse en moyenne de 0,15° C selon le scénario A2 et de 0,3° C selon le scénario B2 à l'horizon 2011-2099 par rapport à la période de références (1981-2010). Dans la même optique, [21] ont montré que la température minimale projetée par le modèle SDSM avec le scénario A2 à la station de Sreemangal en Bangladesh connaîtraient des baisses de 0,09° C ; 0,11° C et 0,48° C respectivement pour les horizons 2030, 2050 et 2080.

Contrairement aux T_{min} le modèle SDSM a simulé des T_{max} et T_{moy} qui seraient en hausse à l'horizon 2011-2099. Les taux moyens respectifs sont de 0,225°C et 0,1°C selon A2 et 0,222°C et 0,14°C selon B2. Ces hausses de température sont en conformité avec les travaux de [22] effectués dans le bassin du Bandama blanc au Nord de la Côte d'Ivoire qui prévoient des augmentations de température plus de 1.5° C que les nôtres. De même, les résultats des simulations effectuées au Niger à partir du modèle SDSM s'accordent à prédire une augmentation moyenne des températures maximales de l'ordre de 2,3°C selon le scénario B2 et de 2,6°C selon le scénario A2 à l'horizon 2020-2049 [23]. Les différences entre les températures projetées dans la zone d'étude et celles projetées par les auteurs cités plus haut sont importantes. Selon [22], ces différences pourraient être expliquées d'une part par la démarche méthodologique et les fortes tendances à la hausse dans les pays sahéliens de l'Afrique de l'ouest et d'autre part par l'effet de continentalité. En effet, selon [24], l'Océan Atlantique et les différents types de couverts végétaux sont des puits de carbone qui absorbent plus de 50% des émissions humaines annuelles de CO₂ et de méthane. Ils contribuent ainsi à la réduction des concentrations atmosphériques de ces deux gaz à effet de serre dans le Golfe de Guinée. C'est ce qui explique un réchauffement plus fort dans les régions désertiques du Sahel et de savane où il y a une forte présence de surfaces nues.

Quant aux précipitations, selon le modèle SDSM, les cumuls de pluies, l'indice LPH et l'indice LPS seraient en baisse à l'horizon 2011-2099 par rapport à la période de référence (1961-1990). Néanmoins, selon les deux scénarii A2 et B2, les cumuls de pluies seraient en hausse dans les petites saisons de pluie (septembre à octobre). De même B2, prévoit une augmentation du nombre de jours consécutivement secs (LPS) pendant la grande saison pluvieuse (mars-juin). Les travaux de [26] et [22] menés respectivement dans le bassin du Bandama blanc et dans le bassin de la Comoé en Côte d'Ivoire ont aussi projeté des pluies qui seraient en baisse à l'horizon 2011-2099. Selon [27] ces baisses de pluies en Côte d'Ivoire seraient causées par la déforestation en cours. En effet, la forêt dense de la Côte d'Ivoire a subi une importantes dégradation depuis l'époque coloniale jusqu'à aujourd'hui. Elles est passées de 13 millions d'hectares à moins de deux millions d'hectares actuellement. Cette dégradation, cette disparition de la forêt a entraîné des modifications, des perturbations au niveau des cycles hydrologiques. La forêt est un des facteurs primordiaux qui crée la pluie.

4 CONCLUSION

Cette étude a montré la capacité du modèle SDSM à bien simulé les températures et les pluies. Ainsi, le modèle a projeté des températures minimales et des pluies qui seraient en baisse par rapport à celles de la période de référence. Cependant, pour les températures maximales et moyennes, le modèle a montré qu'elles seraient en hausse. Cette hausse de la température moyenne et la baisse des pluies auront des conséquences considérables sur le développement socio-économique de la zone d'étude.

REFERENCES

- [1] Kouraiss K. and Ait Brahim Y., Les changements climatiques à Marrakech (Maroc) Evolution récente et projections futures ; Mémoire de Licence es Sciences et Techniques Eau et environnement ; Université Cadi Ayyad, 47p, 2010.
- [2] GIEC., Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième *Rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat*, Genève, Suisse, 103p, 2007.
- [3] Bretaudeau A. , Sarr B. and Traoré S., Évaluation du changement climatique en Afrique de l'Ouest in « Actions d'adaptation au Changement climatique pour le développement rural, la biodiversité et la GIRE ». 1er Forum Africain sur le Développement Durable, Bamako, 8p, 2011.
- [4] Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V., River flow forecasting through conceptual models. Part I—A discussion of principles. *J. Hydrol.* 1970, Vol. 27, 3, pp 282–290.

- [5] Perrin C., Vers une amélioration du modèle global pluie-débit au travers une approche comparative. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 287 p, 2000.
- [6] Servat E., Patureau J. E., Kouamé B., Travaglio M., Ouédraogo M., Boyer J. F., Lubes-Niel H., Fritsch J. M., Masson J. M. et Marieu B., Identification, caractérisation et conséquence d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. IAHS, n°252, pp. 323-337, 1998.
- [7] Mouélihi C., Vers une chaîne cohérente de modèle pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts de Paris, France, 274 p, 2003.
- [8] Berthier C. H., Quantification des incertitudes des débits calculés par un modèle pluie-débit empirique. Mémoire de DEA CEMAGREF, 50 p, 2005.
- [9] Adja M. G., Etude de l'état hydrique saisonnier du bassin versant de la Bagoé dans un contexte de variabilité climatique. Département de Boundiali et Tengrela (milieux soudano-sahéliens au Nord-Ouest de la cote d'ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody, 184 p, 2009.
- [10] Hassan Z. and Harun S., Application of statistical downscaling model for long lead rainfall prediction in Kurau River catchment of Malaysia. *Malays J Civil Eng.* 2012, Vol. 24, 1, pp 1–12.
- [11] Gagnon S., Bhawan S., Rousselle J. and Roy L., An Application of the Statistical DownScaling Model (SDSM) to Simulate Climatic Data for Streamflow Modelling in Québec; *Canadian Water Resources Journal.* 2005, Vol. 30, 4, pp 297–314.
- [12] Karamouz M., Fallahi M., Nazif S. and Rahimi Farahani M., Long lead rainfall prediction using Statistical Downscaling and Artificial Neural Network modeling. *Scientia Iranica.* 2009; Vol. 16, 2, pp 165-172.
- [13] Wilby L. and Wigley T., Precipitation predictors for downscaling: observed and general circulation model relationships. *International Journal of Climatology.* 20, pp. 641-661, 2000.
- [14] Hashmi Z., Shamseldin Y., et Melville W., Statistical downscaling of precipitation: State of the art and application of Bayesian Multi-model approach for uncertainty assessment. *Hydrology and Earth System Sciences.* 2009, Vol. 6, pp. 6535–6579.
- [15] Parishkura D., Evaluation de méthodes de mise à l'échelle statistique: reconstruction des extrêmes et de la variabilité du régime de mousson au sahel. *Mémoire de Maîtrise*, Université du Québec à Montréal. 119 p, 2009.
- [16] Zulkarnain H., et Sobri H., Application of statistical downscaling model for long lead rainfall prediction in kurau river catchment of Malaysia. *Malaysian Journal of Civil Engineering.* 2012, Vol. 24, 1, pp. 1-12.
- [17] Nishat S., Aasim M. and Nishat F., Climate Change Scenarios for Tawi catchment obtained using Statistical Downscaling method, *ijerd.* 2014, Volume 9, 8, pp. 13-18.
- [18] Wilby R. L., Dawson C. W., and Barrow E. M., SDSM -a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, *Environmental Modelling & Software.* 2002a, Vol. 17, pp147-159.
- [19] Dibike Y. B. and Coulibaly P., Hydrologic Impact of Climate Change in the Saguenay Watershed: Comparison of Downscaling Methods and Hydrologic Models, *Journal of Hydrology.* 2005, Vol. 307, 1-4, pp 145-163.
- [20] Fealy R. and Sweeney J., Identification of frequency changes in synoptic circulation types and consequences for glacier mass balance in Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography.* 2007, Vol. 61, 2, pp 76-91.
- [21] Rahaman A. Z., Khan A. M., Aktar M. N., Al Hossain B. M., Akand M. K. and Noor F., Climate change scenarios of bangladesh using statistical downscaling model (sdsms). *5th International Conference on Water & Flood Management (ICWFM-2015)*, 8p, 2015.
- [Online] Available: <https://www.academia.edu/11645805/> (March 20, 2016)
- [22] Kouakou Y. E., «Adaptation au changement climatique et gestion des ressources en eau souterraine : conception d'un SIRS pour le bassin versant du Bandama Blanc à Korhogo (Nord Côte d'Ivoire)». *Thèse unique de doctorat*, l'Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire), 182p, 2016.
- [23] CNEDD, Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable. *Seconde communication nationale sur les changements climatiques au Niger*, 152 p, 2009.
- [24] Philippon P., Climat, dossier de vérité. *Sciences et vie.* Mondadori France, 159 p, 2007.
- [25] Cherkaoui A., Désagrégation statistique des données via l'outil SDSM pour la projection des changements climatiques futurs dans la haute MOULOUYA. *Diplôme d'Ingénieur d'Etat, Génie des Procédés et d'Environnement*, 79 p, 2012.
- [26] Kouakou E., Impacts de la variabilité climatique et du changement climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : Cas du bassin versant de la Comoé. *Thèse Unique de Doctorat*, Université d'Abobo Adjamé, 186 p, 2011.
- [27] CTA, Cote d'Ivoire: La baisse de la pluviométrie affecte la production d'électricité. Programme de radio rurale 03/04. CTA, Wageningen, The Netherlands, 2003. [Online] Available: <https://cgspace.cgiar.org/browse?type=author> (April 19, 2016).